

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-277387

(43)Date of publication of application : 25.09.2002

- (51)Int.Cl.

G01N 21/21

G01B 9/02

G01N 21/27

G02B 5/18

G02B 5/30

(21)Application number : 2001-081991

(71)Applicant : CITIZEN WATCH CO LTD

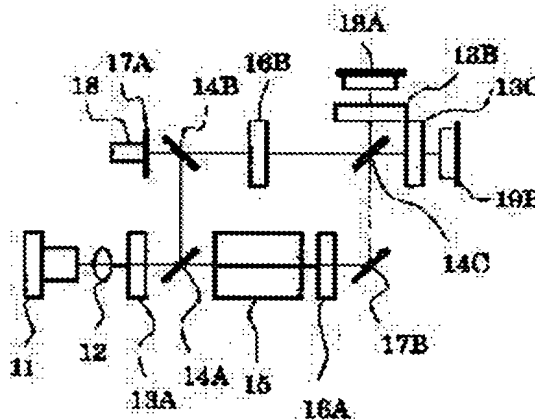
(22)Date of filing : 22.03.2001

(72)Inventor : MATSUMOTO KENJI

(54) INSTRUMENT AND METHOD FOR MEASURING ANGLE OF ROTATION**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve problems that only a transparent body or its equivalent is measured as a sample, that an S/N ratio is lowered not to allow measurement in a sample such as a scatterer wherein a polarization condition is converted into a random polarization, and that an instrument gets complicated to bring high cost and size-up since a polarizer is required to be rotated mechanically or by a Faraday rotator as a method for rotating the polarizer.

SOLUTION: In this method of measuring an angle of rotation, a coherent beam gets incident into a sample, the beam transmitted through the sample is converted by a one-fourth wavelength plate into an orthogonal linear polarization having a phase difference proportional to the angle of rotation of the sample to interfere with reference light having a frequency difference slightly different from the beam, and the angle of rotation of the sample is measured based on a phase difference between two beat signals provided therein.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application].

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 旋光度測定装置において、可干渉性の光源と、前記光源からの光束を物体光束と参照光束の 2 光束に分岐する光束分岐手段と、前記 2 光束の間に僅かな周波数差を与える周波数変調手段と、前記物体光束の光路中に配置して試料を透過した後に前記試料の旋光度を直交する直線偏光間の位相差に変換する 4 分の 1 波長板と、前記物体光束と前記参照光束を合成する光束合成手段と、前記物体光束と前記参照光束による干渉光を偏光方向により 2 相の干渉信号に分離する偏光分離手段と、前記干渉信号を電気信号に変換する光電変換手段からなることを特徴とする旋光度測定装置。

【請求項 2】 前記光束分岐手段と前記周波数変調手段を、前記光束の波長程度のピッチを持った回折格子で構成することを特徴とする請求項 1 に記載の旋光度測定装置。

【請求項 3】 旋光度測定装置において、可干渉性の光源と、前記光源からの光束を直線偏光に変換する偏光子と、試料透過後前記試料の旋光度を直交する偏光成分間の位相差に変換する 4 分の 1 波長板と、前記偏光成分の一方を周波数変調する周波数変調手段と、前記直交する偏光成分間の干渉信号を得る偏光子と、前記干渉信号を電気信号に変換する光電変換手段とからなることを特徴とする旋光度測定装置。

【請求項 4】 可干渉性の光源と、前記光源からの光束のある一方向の偏光成分を周波数変調する周波数変調手段と、前記光束を 2 光束に分岐する光束分岐手段と、前記 2 光束の一方をその偏光成分によって右回りの円偏光と左回りの円偏光に変換する 4 分の 1 波長板と、前記試料を透過後に前記試料の旋光度を直交する直線偏光間の位相差に変換する 4 分の 1 波長板と、前記直交する直線偏光間の干渉信号を得る第 1 の偏光子と、前記干渉信号を電気信号に変換する第 1 の光電変換部材と、前記分岐した他方の光束の偏光成分間の干渉信号を得る第 2 の偏光子と、前記干渉信号を電気信号に変換する第 2 の光電変換部材からなることを特徴とする旋光度測定装置。

【請求項 5】 前記周波数変調手段は、液晶素子による位相変調手段を用いることを特徴とする請求項 1、請求項 3 または請求項 4 に記載の旋光度測定装置。

【請求項 6】 試料の旋光度に比例する位相差を持ったビート信号を得る干渉する 2 光束の一方を位相補正する位相補正素子を備え、前記ビート信号を位相検波した出力が極大または極小となるように位相補正量にフィードバックをかけ、前記位相補正量により、旋光度を検出することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の旋光度測定装置。

【請求項 7】 試料の旋光度に比例する位相を持ったビート信号を得る干渉する 2 つの偏光成分の一方を位相補正する位相補正素子を備え、前記ビート信号を位相検波した出力が極大または極小となるように位相補正量にフ

ィードバックをかけ、前記位相補正量により、旋光度を検出することを特徴とする請求項 3 または請求項 4 に記載の旋光度測定装置。

【請求項 8】 前記位相補正素子は、液晶素子であることを特徴とする請求項 6 または請求項 7 に記載の旋光度測定装置。

【請求項 9】 可干渉性の光束を物体光と参照光の 2 光束に分岐し、前記試料を透過した前記物体光を 4 分の 1 波長板により、前記試料の旋光度に比例する位相差を持った直交する偏光成分に変換し、前記物体光と僅かな周波数差を持った前記参照光と干渉させ、得られる 2 つのビート信号間の位相差により、前記試料の旋光度を測定することを特徴とする旋光度測定方法。

【請求項 10】 可干渉性の光束を試料に入射させ、前記試料を透過した光束を 4 分の 1 波長板により、前記試料の旋光度に比例する位相差を持った直交する偏光成分に変換し、前記偏光成分間に僅かな周波数差を与え、偏光子により前記直交する偏光成分同士を干渉させ、得られるビート信号の位相により試料の旋光度を測定することを特徴とする旋光度測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、試料中の旋光性物質、例えば糖類、アミノ酸、ビタミン等の濃度を非接触で測定する旋光度測定装置に関するものであり、被検試料として生体を含む散乱体の測定が可能であり、特に生体の血糖値を非侵襲で測定する高感度旋光度測定装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、試料による偏光面の回転角度、すなわち旋光度は、直線偏光を試料に入射させ、試料を透過した光束を検光子へ入射させ、フォトダイオードにより光電変換し、得られた信号から旋光度を求めている。偏光子の透過軸に対する検光子の透過軸の傾きを θ とし、試料による旋光度を α とすると、フォトダイオードで受光する光強度 I は、 $I = T \times I_0 \cdot \cos^2(\theta - \alpha)^2$ (式 1) となる。ここで、 T は試料、偏光子及び検光子の反射や吸収による減衰全てを考慮した透過率、 I_0 は入射光の強度を現す。式 1 より分かる様に、検光子の回転に伴い、回転角度 π (rad) 毎に極小点が得られる。この極小点における検光子の角度より旋光度を求める事ができる。高精度・高感度化のために、偏光面振動方式が一般的に用いられており、以下、図 5 を用いて説明する。光源 121 から出射した単色光は、偏光子駆動回路 129 により周波数 f 、角振幅 θ で振動している偏光子 122 に入射し、偏光面が回転振動する直線偏光になる。この光束を試料 125 に入射させ、検光子を透過させると周波数 f の信号がフォトダイオード 124 より得られる。このとき試料 125 の旋光度により、偏光面が α だけ回転しているとすると、偏光子 122 と検光子 123 を直交配置

しておけば、試料 125 が右旋光か左旋光かにより位相の反転した信号が得られる。フォトダイオード 124 より得られる信号を増幅回路 126 で増幅し、濾波・整流回路 127 で濾波・整流し、位相を求め、その位相に応じて、検光子駆動回路 128 を介して検光子 123 を正逆いずれかに回転させ、透過光量が最小となるように光学的零位法により検光子角度を決定する。平衡点においては 2f の信号が得られるが、同期検波し 2f 成分を除去している。平衡点における検光子角度が試料の旋光角に対応する。偏光面を回転させる方法として、機械的に偏光子を回転させる方法の他、ファラデーローテータも利用されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記方式では試料透過によりある程度偏光状態が保存される必要があり、試料として透明体かそれに準ずるものしか測定できず、散乱体試料の様に偏光状態をランダム偏光に変換してしまう試料では、SN比が低下し、旋光度を測定できないという欠点がある。また、偏光面を回転させる方法として、偏光子を機械的に回転させたり、ファラデーローテータにより回転させる必要があり、装置が複雑になり、高価格化、大型化するという欠点もある。

【0004】

【課題を解決するための手段】前述した目的を達成するために、本発明のうちで請求項 1 に記載の発明は、旋光度測定装置において、可干渉性の光源と、前記光源からの光束を物体光束と参照光束の 2 光束に分岐する光束分岐手段と、前記 2 光束の間に僅かな周波数差を与える周波数変調手段と、前記物体光束の光路中に配置し前記試料を透過後に前記試料の旋光度を直交する直線偏光間の位相差に変換する 4 分の 1 波長板と、前記物体光束と前記参照光束を合成する光束合成手段と、前記物体光束と前記参照光束による干渉光を偏光方向により 2 相の干渉信号に分離する偏光分離手段と、前記干渉信号を電気信号に変換する光電変換手段からなることを特徴とする旋光度測定装置である。

【0005】また、請求項 2 に記載の発明は、旋光度測定装置において、可干渉性の光源と、前記光源からの光束を直線偏光に変換する偏光子と、前記直線偏光を試料へ透過させ、前記試料の旋光度を直交する偏光成分間の位相差に変換する 4 分の 1 波長板と、前記偏光成分の一方を周波数変調する手段と、前記直交する偏光成分間の干渉信号を得る偏光子と、前記干渉信号を電気信号に変換する光電変換手段とからなることを特徴とする旋光度測定装置である。

【0006】また、請求項 3 に記載の発明は、光源からの光束を 2 光束に分岐する光束分岐手段と、前記分岐した 2 光束間に僅かな周波数差を与える周波数変調手段を、前記光束の波長程度のピッチを持った回折格子で兼用させることを特徴とする請求項 1 に記載の旋光度測定

装置である。

【0007】また、請求項 4 に記載の発明は、可干渉性の光源と、前記光源からの光束のある一方向の偏光成分を周波数変調する手段と、前記光束を 2 光束に分岐する光束分岐手段と、前記 2 光束の一方をその偏光成分によって右回りの円偏光と左回りの円偏光に変換する 4 分の 1 波長板と、前記試料を透過後に前記試料の旋光度を直交する直線偏光間の位相差に変換する 4 分の 1 波長板と、前記直交する直線偏光間の干渉信号を得る第 1 の偏光子と、前記干渉信号を電気信号に変換する第 1 の光電変換部材と、前記分岐した他方の光束の偏光成分間の干渉信号を得る第 2 の偏光子と、前記干渉信号を電気信号に変換する第 2 の光電変換部材からなることを特徴とする旋光度測定装置である。

【0008】また、請求項 5 に記載の発明は、前記周波数変調手段は、液晶素子による位相変調手段を用いることを特徴とする請求項 1、請求項 2 または請求項 4 に記載の旋光度測定装置である。

【0009】また、請求項 6 に記載の発明は、試料の旋光度に比例する位相差を持ったビート信号を得る干渉する 2 光束の一方を位相補正する位相補正素子を備え、前記ビート信号を位相検波した出力が極大または極小となるように位相補正量にフィードバックをかけ、前記位相補正量により、旋光度を検出することを特徴とする請求項 1、または請求項 3 に記載の旋光度測定装置である。

【0010】また、請求項 7 に記載の発明は、試料の旋光度に比例する位相を持ったビート信号を得る干渉する 2 つの偏光成分の一方を位相補正する位相補正素子を備え、前記ビート信号を位相検波した出力が極大または極小となるように位相補正量にフィードバックをかけ、前記位相補正量により、旋光度を検出することを特徴とする請求項 2、または請求項 4 に記載の旋光度測定装置である。

【0011】また、請求項 8 に記載の発明は、前記位相補正素子が、液晶素子であることを特徴とする請求項 6、または請求項 7 に記載の旋光度測定装置である。

【0012】また、請求項 9 に記載の発明は、可干渉性の光束を物体光と参照光の 2 光束に分岐し、前記試料を透過した前記物体光を 4 分の 1 波長板により、前記試料の旋光度に比例する位相差を持った直交する偏光成分に変換し、前記物体光と僅かな周波数差を持った前記参照光と干渉させ、得られる 2 つのビート信号間の位相差により、前記試料の旋光度を測定することを特徴とする旋光度測定方法である。

【0013】また、請求項 10 に記載の発明は、可干渉性の光束を試料に入射させ、前記試料を透過した光束を 4 分の 1 波長板により、前記試料の旋光度に比例する位相差を持った直交する偏光成分に変換し、前記偏光成分間に僅かな周波数差を与え、偏光子により前記直交する偏光成分同士を干渉させ、得られるビート信号の位相に

より試料の旋光度を測定することを特徴とする旋光度測定方法である。

【0014】(作用) 前述の旋光度測定方法は、旋光現象が右回りの円偏光と左回りの円偏光の屈折率差によって生じることを利用し、2つの円偏光間の屈折率差で生じた位相差を、2つの光束をそれぞれ別の参照光束と干渉

$$E_y = A \cos(\omega t + \delta_0)$$

$$E_x = A \cos(\omega t + \delta_0 - \pi/2) \quad (\text{式2})$$

と表される。試料透過時に、試料の旋光度により2つの※

$$E_y = A \cos(\omega t + \delta_0 + \theta)$$

$$E_x = A \cos(\omega t + \delta_0 - \pi/2 + \theta) \quad (\text{式4})$$

から、合成光は、 $E_y = 2A \cos(\omega t + \delta_0) \cos(\theta)$ 、 $E_x = 2A \cos(\omega t + \delta_0) \sin(\theta)$ となり、 $E_y = 1/\tan(\theta) E_x$ と表され、傾き θ の直線偏光となる。すなわち、円偏光間の位相差 2θ により角度 θ の旋光が生じる。従って、2光束干渉により、旋光度による位相 θ を光強度に変換し検出することができる。

【0016】さらに干渉する2光束に僅かな周波数差 $\Delta\omega$ (数kHz~数MHz)を与えておけば、2光束の電界を E_1, E_2 とすると、 $E_1 = A \cos((\omega + \Delta\omega)t + \delta_0)$ 、 $E_2 = A \cos(\omega t + \delta_1)$ より、干渉光強度 I は、 $I = |E_1 + E_2|^2 = A^2 \cos^2((\omega + \Delta\omega)t + \delta_0) + A^2 \cos^2(\omega t + \delta_1) + 2A^2 \cos((\omega + \Delta\omega)t + \delta_0) \cos(\omega t + \delta_1)$ 、光の周波数に、光電変換部材は応答できないため、光強度は、 $I = I_0 + A^2 \cos(\Delta\omega t + \delta)$ (式6)となり、直流成分とビート信号の和となる。

【0017】光周波数を僅かにシフトさせる方法の1つに音響光学変調器(Acousto-Optic Modulator:AOM)を用いる方法があり、シフトさせる周波数はAOMに供給される超音波周波数で決まる。例えば、2光束をそれぞれ100MHzと101MHzで周波数変調すると、1MHzの

$$E_y = A \cos(\omega t + \delta_0 + \theta)$$

$$E_x = A \cos(\omega t + \delta_0 - \pi/2 + \theta)$$

と表され、これが、進相軸がX軸と一致した4分の1波長板を透過することにより、Y軸に対してX軸の位相が $\pi/2$

$$E_y = A \cos(\omega t + \delta_0 + \theta)$$

$$E_x = A \cos(\omega t + \delta_0 + \theta)$$

と表され、それぞれX軸及びY軸と45°傾斜した直交する直線偏光に変換される。偏光ビームスプリッターやビームスプリッターと偏光子の組み合わせを用いて、偏光方向により2光束を分離し、別の光路を通り周波数変調された参照光と干渉させると、それぞれのビート信号は、式6と同様に、 $A \cos(\Delta\omega t + \delta_0 + \theta)$ 、 $A \cos(\Delta\omega t + \delta_0 - \theta)$ が得られ、試料の旋光度により位相変調されたビート信号が得られる。

【0021】ここで、ビート信号の周波数は既知なので、同期検波することによりビート信号の位相を感度よく検出することができる。すなわち、ビート信号、 $A \cos(\Delta\omega t + \delta_0 + \theta)$ に同一周波数の正弦波信号 $\sin(\Delta\omega t + \delta_0)$ を乗算すると、 $A(\sin(2\Delta\omega t + 2\delta_0 + \theta) + \sin(\theta))/2$ が得られ、ローパスフィルタにより直流成分のみを取り出

※ 渉させる、もしくは、2つの円偏光光束同士を干渉させることにより、光強度に変換して検出している。

【0015】例えば、試料に直線偏光が入射した場合、直線偏光を右回り及び左回り円偏光の合成と考えれば、右回り及び左回り円偏光の電界成分は、それぞれ

$$E_y = A \cos(\omega t + \delta_0)$$

$$E_x = A \cos(\omega t + \delta_0 + \pi/2) \quad (\text{式3})$$

※ 円偏光間に $\pm\theta$ の位相差が加わるとすると、

$$E_y = A \cos(\omega t + \delta_0 - \theta)$$

$$E_x = A \cos(\omega t + \delta_0 + \pi/2 - \theta) \quad (\text{式5})$$

★ ビート信号が得られ、電気信号処理が可能となる。

【0018】ここで、2光束とも周波数変調したのは、光源の周波数変動をキャンセルするためで、一方の光束のみ周波数変調し、ビート信号を得ることも可能である。

【0019】干渉する2光束のビーム径と光電変換部材の受光サイズをほぼ同じとすると、試料により屈折、回折及び散乱により偏向した光束は、光電変換部材上で参照光と重ならず干渉に寄与しない、また、多重散乱し、光電変換部材に入射する光束は、波面、偏光面ともランダムとなり、コヒーレンスが保存されておらず干渉に寄与しない。従って、試料を直進透過した光束成分のみが干渉しビート信号が得られる。既知のビート周波数の信号をフィルタリングして取得する事により、散乱体の旋光度の測定も可能となる。

【0020】例えば、Y軸と45°傾斜した直線偏光を試料に入射させた場合、右回り円偏光と左回り円偏光成分は、試料の旋光度により $\pm\theta$ の位相差が加わり式4、

★30 5と同様に、

$$E_y = A \cos(\omega t + \delta_0 - \theta)$$

$$E_x = A \cos(\omega t + \delta_0 + \pi/2 - \theta)$$

☆/2進み、

$$E_y = A \cos(\omega t + \delta_0 - \theta)$$

$$E_x = -A \cos(\omega t + \delta_0 - \theta)$$

すと、 $A \sin(\theta)/2$ が得られ、位相 θ を求めることができる。これは、同一周波数の信号を乗算することによりビート信号周波数 $\Delta\omega$ を直流と $2\Delta\omega$ (2倍周波数)へ周波数変換していることになり、信号周波数を中心とするバンドパスフィルタをローパスフィルタによる直流成分の取り出しに置きかえられる事を意味し、結果的に、帯域幅の狭いバンドパスフィルタが達成でき、SN比を改善できる。このようにして、散乱体の様な被検試料においても感度よく旋光度を求めることができる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明に関して、好適な実施形態を挙げ、図を用いて説明する。

【0023】(第1の実施形態) 図1は、第1の実施形態の光学系を示している。レーザダイオード11から出

射した光束は、レンズ12でコリメートされ、平行光となり、偏光子13Aにより、鉛直方向に振動する直線偏光になる。次に、ハーフミラー14Aにより2光束に分岐され、透過光は、被検試料15に入射し、試料の旋光度に伴い、右回り円偏光と左回り円偏光間で $\pm\theta$ の位相差が与えられる。次に水平もしくは垂直軸に進相軸が一致した4分の1波長板16Aを透過し、左右回りの円偏光が、それぞれ垂直軸から45°傾斜した直交する直線偏光に変換される。

【0024】一方、ハーフミラー14Aにより反射した光束は、別のハーフミラー14Bによりミラー17A方向に反射される。ミラー17AはPZTなどの電歪素子18により支持されており、電歪素子に周期信号を印加し、光軸方向に周期的な振動を与える。例えば、振幅が波長の n 倍($n=1, 2, 3, \dots$)ののこぎり波状の信号を印加し、ミラー17が速度 v で動いたとすると、 $\Delta f/f=v/(c+v)$ の周波数変調が得られ、2光束の干渉によりビート信号が得られる。

【0025】周波数変調方法として、音響光学変調器(AOM)による周波数変調や、レーザダイオードの駆動電流制御による周波数変調等、他の手段を採用することも可能である。

【0026】周波数変調された光束は、その光軸向きが4分の1波長板16Aと同一の4分の1波長板16Bを透過し、ハーフミラー14Cで合成され、垂直軸から45°傾斜し直交する透過軸を持つ偏光子13B、13Cにより、試料を透過した光束と参照光束の同一方向偏光成分が干渉する。これにより、試料の旋光度に比例する位相差を持った2相の正弦波信号が得られ、フォトダイオード19A、19Bにより光電変換される。

【0027】例えば、砂糖溶液を被検試料として考えると、砂糖の比旋光度は66.5°であり、光路長を10mmとすると、試料透過による旋光角度 α は $\alpha=[dn] \times C[q/dl] \times 66.5/100$ (1:光路長、C:濃度)より、 $\alpha=0.1 \times 10 \times 66.5/100=0.665^\circ$ となり、2相信号間の位相差 θ は、 $\theta=2\alpha=2 \times 0.665 \times \pi/180=0.023[\text{rad}]$ が得られる。

【0028】原理的には、上述した同期検波の手法を用い、フォトダイオード19A、19Bから得られる2相信号を乗算し、ローパスフィルターを透過させ、直流成分を取り出す事により、位相差を求める事ができる。また、2相信号をA/D変換後、精度の高い正弦波をデジタル的に乗算する等、デジタル信号処理の工夫により、より高精度の位相計測が可能となり、旋光性物質の濃度を高精度に求める事ができる。

【0029】(第2の実施形態)図2は、第2の実施形態の光学系を示している。レーザダイオード11から出射した光束は、レンズ12でコリメートされ、平行光となり、偏光子13Aによって、鉛直方向に振動する直線偏光になる。次に、回折格子21により回折光と直進光

の2光束に分岐される。回折格子21はPZTなどの電歪素子18により支持されており、電歪素子に周期信号を印加し、格子と垂直方向に周期的な振動を与える。

【0030】回折格子21を直進した光束は、被検試料15に入射し、試料の旋光度に伴い、右回り円偏光と左回り円偏光間で $\pm\theta$ の位相差が与えられる。次に水平もしくは垂直軸に進相軸が一致した4分の1波長板16Aを透過し、左右回りの円偏光が、それぞれ垂直軸から45°傾斜した直交する直線偏光に変換される。

10 【0031】一方、回折格子21により回折した1次回折光には、回折格子21の位置により位相項 $2\pi x/D$ (x :回折格子の変位、 D :回折格子ピッチ)が重畳され、回折方向の違いにより正負逆の位相項が重畳される。従って、それぞれの回折光は簡単に、 $E_1=A \cos(\omega t + 2\pi x/D)$ 、 $E_2=A \cos(\omega t - 2\pi x/D)$ と表される。

【0032】+1次回折光 $E=A \cos(\omega t + 2\pi x/D)$ の瞬時角周波数 ω_1 を考えると、 $\omega_1=d/dt(\omega t + 2\pi x/D \{v(t)d t) = \omega + 2\pi v(t)/D$ ($v(t)$:回折格子の移動速度)となり、回折格子の速度に比例した周波数変調を行う事ができ、0次光との角周波数の違いは、 $2\pi v(t)/D$ となる。すなわち、位相変調は、周波数変調と本質的な違いは無い。速度 v が一定のとき、0次回折光と1次回折光の干渉光強度は、正弦波状に変化し、一定周期のビート信号が得られる。

【0033】これにより、第1の実施形態で分離していた光束分岐機能と周波数変調機能を回折格子21で兼用でき、光学系が単純化され、サイズの小型化、コストの低減が達成できる。

30 【0034】回折格子21により周波数変調された光束は、その光軸向きが16Aと同一の4分の1波長板16Bを透過し、ハーフミラー14で合成され、偏光子13B、13Cにより同一の偏光成分が干渉する。このため、試料の旋光度に比例する位相差を持つ2相の正弦波信号が得られ、第1の実施形態と同様に旋光度を求める事ができる。

【0035】(第3の実施形態)図3は、第3の実施形態の光学系を表している。レーザダイオード11から出射した光束は、レンズ12でコリメートされ、平行光となり、偏光子13Aにより、垂直方向から45°傾斜した方向に振動する直線偏光になる。次に、液晶素子31により水平方向もしくは垂直方向の偏光成分が位相変調される。液晶素子31は、水平方向もしくは垂直方向に液晶分子長軸が揃ったホモジニアス配向の液晶素子であり、電圧印加により液晶分子が立ち、分子長軸方向の屈折率が変化し、位相変調を行う事ができる。

【0036】第2の実施形態で示した様に、位相変調と周波数変調には、本質的な違いは無く、上述のように一方の偏光成分のみに、液晶素子による位相変調を加えると、直交する偏光成分同士で干渉させる事により、ビート信号が得られる。

【0037】次に、ハーフミラー14により反射光と直進光に分岐され、直進光は、水平軸と進相軸が45°傾斜した4分の1波長板16Aに入射し、水平・垂直方向の振動成分をそれぞれ反対方向に回転する円偏光成分に変換する事ができる。次に、被検試料15に入射し、試料の旋光度に伴い、右回り円偏光と左回り円偏光間で±θの位相差が与えられる。さらに、前記4分の1波長板16Aと光軸が一致もしくは直交する4分の1波長板16Bを透過し、左右回りの円偏光が、それぞれ水平もしくは垂直方向に振動する直交する偏光成分に変換される。

【0038】水平もしくは垂直方向から45°傾斜した偏光子13Bを透過する事により、上述の直交する偏光成分間の干渉信号が得られ、一方の光速が位相変調されているためビート信号が得られ、フォトダイオード19Aにより電気信号に変換される。

【0039】ここで、干渉する2光速は、1つの光速の直交する偏光成分であり、完全なコモンパスの干渉計となるため、2光速干渉のような高精度の光軸のアライメントが不要で、干渉計の安定度も非常に高い。

【0040】一方、ハーフミラー14で反射された光束も、偏光子13Bと同様に配置した偏光子13Cにより、直交する偏光成分間の干渉信号が得られ、一方を位相変調しているため、フォトダイオード19Bにより光電変換し、ビート信号がえられる。

【0041】フォトダイオード19Bより得られるビート信号は、試料の旋光度の影響は受けておらず、フォトダイオード19A、19Bの信号間の位相差により、試料の旋光度を求める事ができる。また、試料の旋光度以外の影響、例えば、光源の強度の揺らぎや、液晶素子の応答のばらつきなどがキャンセルされるため、資料の旋光度を感度よく検出する事ができる。

【0042】(第4の実施形態)図4は、第4の実施形態の光学系を表している。液晶素子31Bによる位相補正を加える事に特徴があり、他の光学系は第3の実施形態と同一である。ここでは、第3の実施形態に液晶素子13Bを追加して説明するが、第1、第2の実施形態に液晶素子13Bによる位相補正を加えても同等の効果が得られる。

【0043】レーザダイオード11から出射した光束は、レンズ12でコリメートされ、平行光となり、偏光子13Aによって、垂直方向から45°傾斜した方向に振動する直線偏光になる。次に、液晶素子31Aにより水平方向もしくは垂直方向の偏光成分が位相変調される。液晶素子31Aは、水平方向もしくは垂直方向に液晶分子長軸が揃ったホモジニアス配向の液晶素子であり、電圧印加により液晶分子が立ち、分子長軸方向の屈折率が変化し、位相変調を行う事ができる。

【0044】第2の実施形態で示した様に、位相変調と周波数変調には、本質的な違いは無く、上述のように一

方の偏光成分のみに、液晶素子による位相変調を加えると、直交する偏光成分同士で干渉させる事により、ビート信号が得られる。

【0045】ハーフミラー14により反射光と直進光に分岐され、直進光は、水平軸と遅相軸が45°傾斜した4分の1波長板16Aに入射し、水平・垂直方向の振動成分をそれぞれ反対方向に回転する円偏光成分に変換する事ができる。次に、被検試料15に入射し、試料の旋光度に伴い、右回り円偏光と左回り円偏光間で±θの位相差が与えられる。さらに、前記4分の1波長板16Aと光軸が一致もしくは直交する4分の1波長板16Bを透過し、左右回りの円偏光が、それぞれ水平もしくは垂直方向に振動する直交する偏光成分に変換される。

【0046】水平もしくは垂直方向から45°傾斜した偏光子13Bを透過する事により、上述の直交する偏光成分間の干渉信号が得られ、一方を位相変調しているため、フォトダイオード19Aによりビート信号41Aが得られる。

【0047】また、この光束は、液晶素子31Bにより位相補正が加えられる。ここで、液晶素子31Bは、その液晶分子長軸が水平もしくは垂直方向と一致しているため、液晶駆動信号を変え、位相補正量を調整する事により、ビート信号41Aの位相を任意に設定できる。

【0048】一方、ハーフミラー14で反射された光束も、偏光子13Bと同様に配置した偏光子13Cにより、直交する偏光成分間の干渉信号が得られ、一方を位相変調しているため、フォトダイオード19Bによりビート信号41Bが得られる。

【0049】ここで、ビート信号41A、41Bは、 $E_A = A \cos(\Delta\omega t + 2\theta + \phi + \delta_0)$ 、 $E_B = A \cos(\Delta\omega t + \delta_0)$ (ここで、 $\Delta\omega$: ビート信号角周波数、 θ : 旋光角度(rad)、 ϕ : (液晶素子31Bによる位相補正量、 δ_0 : 初期位相)と表され、増幅・位相検波回路42により、お互いを乗算し、ローパスフィルターで直流成分を取り出し、位相検波信号Spがえられる。

$$E_A \times E_B = A^2 \cos(\Delta\omega t + 2\theta + \phi + \delta_0) \cos(\Delta\omega t + \delta_0) = A^2 / 2 [\cos(2\Delta\omega t + 2\theta + \phi + 2\delta_0) + \cos(2\theta + \phi)]$$

より、 $Sp = A' \cos(2\theta + \phi)$ となり、旋光度と液晶素子31Bによる位相項を持った正弦波となる。

【0050】ここで、Spを一定値Sp1となる様に、デジタル信号処理回路43により、液晶駆動電圧をコントロールし、液晶駆動回路44を介して、液晶素子31Bをクローズドループでコントロールする。

【0051】また、増幅・位相検波回路42では、信号の増幅のみを担当し、位相検波信号Sp1は、液晶素子31Aを駆動する信号と同期させ、デジタル信号処理回路43によりデジタル処理で求めることもできる。

【0052】液晶素子31Bへの駆動電圧の変化は、試料15の旋光度の変化に対応しており、旋光度の検出をする事ができる。

10

20

30

40

50

11

12

【0053】Sp1の値として、極大もしくは極小となるように液晶素子駆動信号へフィードバックすることで、光源の強度変動や試料の透過率の変動による影響をキャンセルする事ができ、試料の旋光度を高精度に検出する事ができる。

【0054】

【発明の効果】本発明によれば、試料として透明体だけでなく、散乱体試料の様に偏光状態を保存しない試料でも、SN比を向上し、旋光度を測定することができる。また、偏光子を機械的に回転させたり、ファラデーロータにより回転させる等して、偏光面を回転させる必要がなく、装置が簡単になり、小型化、低価格化させることができる。

【0055】また、請求項2の発明によれば、干渉計が完全なコモンパスであるため、高精度な光軸のアライメントが不要であり、安定性も非常に高く、高感度な旋光度の測定が可能となる。

【0056】さらに、周波数変調手段として、液晶素子を用いると、ミラーの機械的振動や音響光学変調器による周波数変調などが不要となり、装置が簡単になり、小型化、低価格化させることができる。

【0057】さらに、液晶素子による位相補正を加え、*

*位相検波信号を極大もしくは極小となるように液晶素子駆動信号へフィードバックすることで、光源の強度変動や試料の透過率の変動による影響をキャンセルする事ができ、試料の旋光度を高精度に検出する事ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態における旋光度測定装置の光学系を示す構成図である。

【図2】本発明の第2の実施形態における旋光度測定装置の光学系を示す構成図である。

10 【図3】本発明の第3の実施形態における旋光度測定装置の光学系を示す構成図である。

【図4】本発明の第4の実施形態における旋光度測定装置を示す構成図である。

【図5】従来の旋光度測定装置の一例を示す構成図である。

【符号の説明】

11 レーザダイオード

13 偏光子

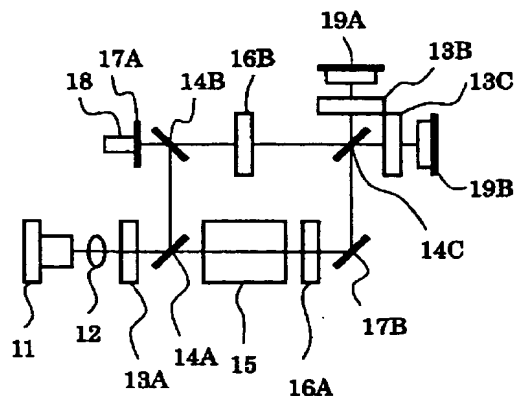
16 4分の1波長板

19 フォトダイオード

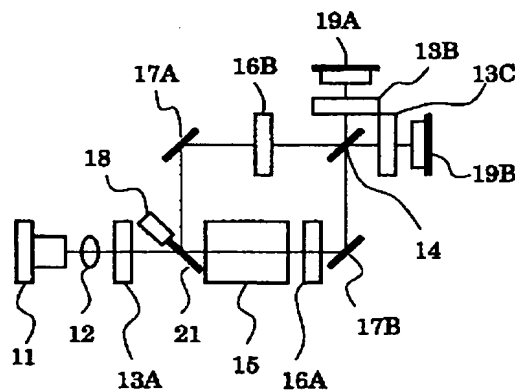
21 回折格子

31 液晶素子

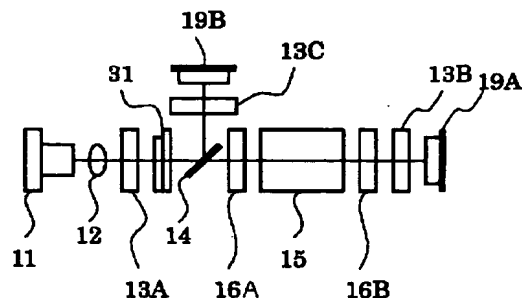
【図1】



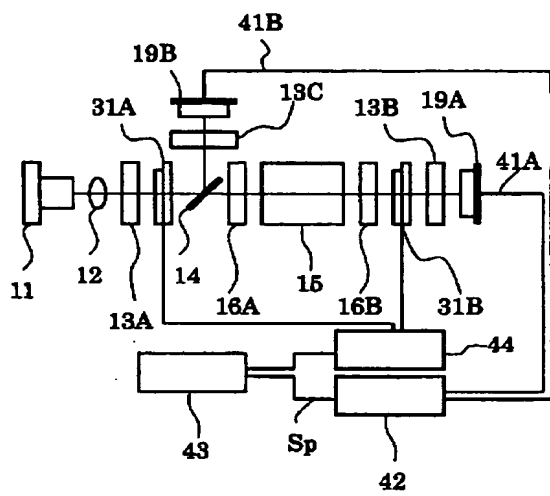
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

